



## **Compte-rendu du débat INERIS – Société civile**

**Sécurité des nouvelles formes d'exploitation du sous-sol :**  
**Risques, impacts et nuisances potentiels liés à la géothermie profonde**  
**Que sait-on des risques liés à la sismicité anthropique ?**

**28 novembre 2017**

## Liste des participants

### Participants

Prénom	Nom	Organisme
Annie	LEROY	Ecologie pour Le Havre
Jean	REYNAUD	France Nature Environnement
Daniel	VIGIER	France Nature Environnement
Anita	VILLERS	Environnement Développement Alternatif

### Ineris

Prénom	Nom	Fonction
Pascal	BIGARRE	Directeur des Risques Sols et sous-sols
Isabelle	CONTRUCCI	Ingénieur à l'unité Auscultation et surveillance géotechnique et géophysique, Direction des Risques Sols et sous-sols
Philippe	GOMBERT	Référent Hydrogéologie, Direction des Risques Sols et sous-sols
Aurélie	PREVOT	Responsable ouverture à la société à la Direction de la Communication

## Contexte

### La géothermie profonde, un enjeu pour la transition énergétique

La lutte contre le réchauffement climatique nécessite de limiter le recours aux énergies fossiles pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. En France, la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte du 17 août 2015 prévoit de porter la part des énergies renouvelables à 23% de la consommation finale brute d'énergie en 2020 et à 32% de cette consommation en 2030. Ces énergies représentaient environ 15% de la consommation énergétique française en 2015.

La géothermie a pour objet d'étudier les phénomènes thermiques internes du globe terrestre. Par extension, elle désigne l'ensemble des technologies qui utilisent l'énergie thermique du sous-sol pour produire de la chaleur ou de l'électricité. La géothermie est une source d'énergie

#### Une perception ambivalente de la géothermie profonde en France

Une image globalement positive :

- ☺ Energie renouvelable
- ☺ A faible empreinte carbone
- ☺ Non intermittente
- ⇒ **Nombreux atouts pour contribuer à la transition énergétique**

Des réticences liées notamment à quelques incidents :

- ☹ en géothermie profonde (Bâle, Landau, Staufen, etc.)
- ☹ mais aussi en géothermie superficielle (Lochwiller, Kirchheim)
- ⇒ **Activité industrielle parfois perçue comme à risques et dont la sécurité n'est pas toujours maîtrisée.**

Présentation OMC - 28 nov. 2023

2 / 30



renouvelable, à faible empreinte carbone, qui présente l'avantage de ne pas être intermittente. Elle ne représente aujourd'hui que 0,9% de la production française d'énergies renouvelables, derrière les énergies hydraulique (20%), éolienne (8%) et solaire (3,4%). La France, dont le potentiel géothermique est peu exploité, a engagé une politique volontariste pour soutenir le développement de la filière et affiche deux objectifs dans sa programmation

pluriannuelle de l'énergie : une puissance électrique totale installée d'origine géothermique de 53 mégawatts en 2023 (contre 8 MW en 2018) et une production de chaleur directe d'origine géothermique de 400-500 kilotonnes d'équivalent pétrole en 2023 (contre 200 ktep en 2018).

### Un risque croissant de phénomènes de sismicité anthropique ?

Depuis la révolution industrielle, la demande mondiale en énergie fossile comme en matières premières a engendré une augmentation considérable de l'exploitation des ressources du sous-sol. La demande en ressources minérales tend même à s'accélérer : depuis le début du siècle jusqu'à la première décennie 2000, l'extraction mondiale des matières premières a été multipliée par 10. La part des ressources minérales est passée d'un quart à deux tiers du total et l'OCDE estime qu'à l'horizon 2030 la production mondiale de matières premières pourrait être multipliée par 15. Dans une perspective de préservation des ressources et de l'environnement, les politiques publiques définissent aujourd'hui des stratégies de gestion durable des ressources, y compris des ressources du sous-sol, fondées sur le développement des ressources renouvelables et recyclées.

Exploitation d'hydrocarbures conventionnelle et non-conventionnelle, stockage de l'énergie, géothermie profonde, séquestration géologique du CO<sub>2</sub>... les avancées technologiques conduisent à repousser sans cesse les limites du sous-sol profond exploité. Or la multiplicité, la diversité et l'envergure croissante des projets d'exploitation, ainsi que les utilisations nouvelles du sous-sol, augmentent le risque que ces activités industrielles puissent générer des tremblements de terre (ou séismes), dits « anthropiques », c'est-à-dire générés par l'homme.

### Qu'en est-il aujourd'hui ?

L'accroissement de la demande mondiale en énergie et en matières premières

- Augmentation de l'exploitation des ressources du sous-sol et de son utilisation à des fins de stockage
  - Développement d'énergies conventionnelles et non-conventionnelles
  - Augmentation des profondeurs et des taux d'extraction minière
- Multiplication du nombre de situations génératrices d'une sismicité d'origine anthropique
- Même si le nombre de cas reste faible par rapport au nombre total de projets industriels

Localisation de la sismicité induite par les activités anthropiques



Synthèse INERIS non exhaustive

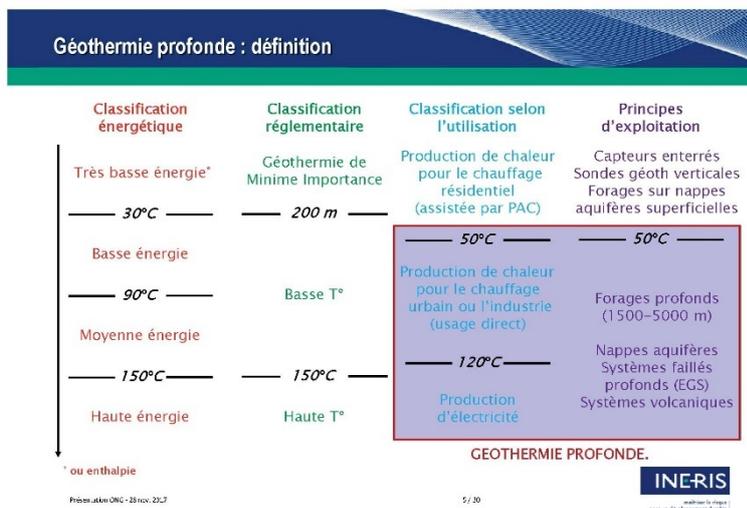


Révision ONC - 28/11/2017

## Points clés des présentations

### Risques, impacts et nuisances potentiels liés à la géothermie profonde

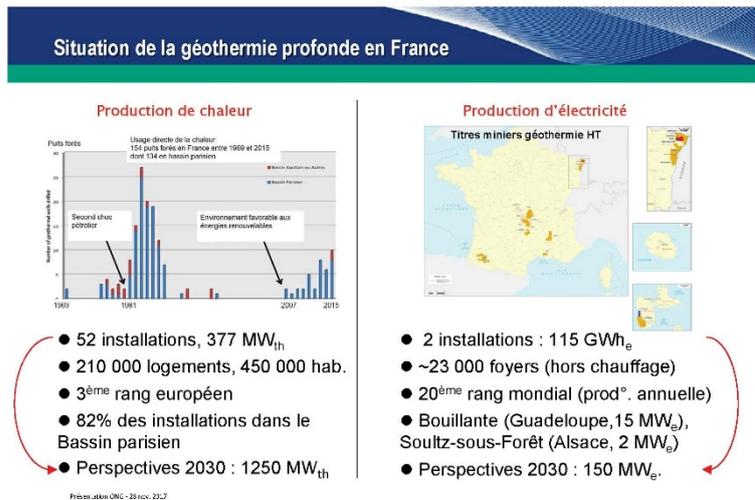
L'activité de géothermie profonde se définit selon plusieurs critères différents : elle peut se résumer schématiquement comme l'utilisation de l'énergie thermique du sous-sol sans recours



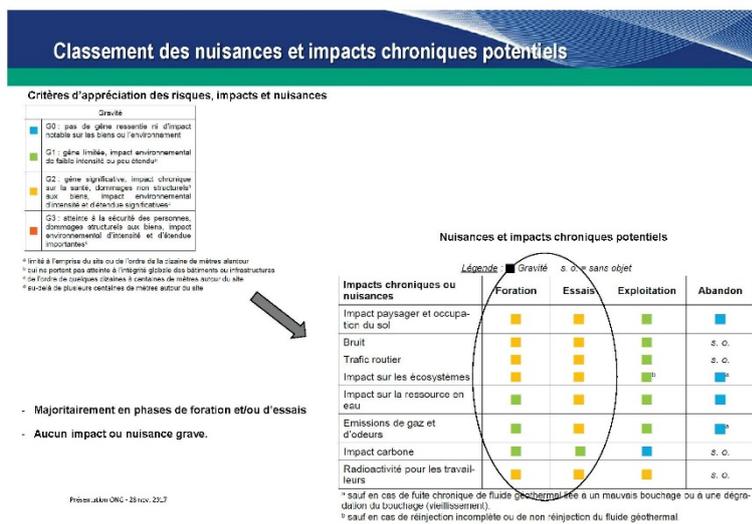
de pompe à chaleur. Il s'agit de réaliser des forages à un à plusieurs kilomètres de profondeur, sur le modèle de ceux que l'on rencontre dans l'industrie pétrolière, par lesquels des eaux ou des vapeurs chaudes sont extraites, valorisées en surface (sous forme de chaleur ou d'électricité) et le plus souvent, réinjectées dans le sous-sol par le biais d'un deuxième forage (principe dit du « doublet géothermique »).

Une exploitation de géothermie profonde est conduite en plusieurs phases successives : une phase de foration, où l'on réalise un premier forage suivie d'une phase d'essais de production où l'on teste le potentiel géothermique du site ; si celui-ci est intéressant, on réalise le second forage du doublet qui sera lui aussi testé ; puis vient la phase d'exploitation proprement dite (30 ans minimum) et, en fin de vie, la phase de fermeture du site (« abandon »).

Dans le monde, on compte 1100 installations de production de chaleur par géothermie profonde et 600 installations de production d'électricité. L'activité croît à un rythme de 10% par an et offre des perspectives de production assez fortes d'ici à 2050. Du point de vue géologique, la France n'est pas un territoire avec un fort potentiel de géothermie profonde, mais son potentiel est encore peu exploité : à l'horizon 2030, il est envisagé de multiplier par quatre la production actuelle de chaleur et de multiplier par dix la production d'électricité.



Concernant les impacts et nuisances, l'étude de l'Institut n'a pas identifié a priori de nuisance ou d'impact environnemental grave.



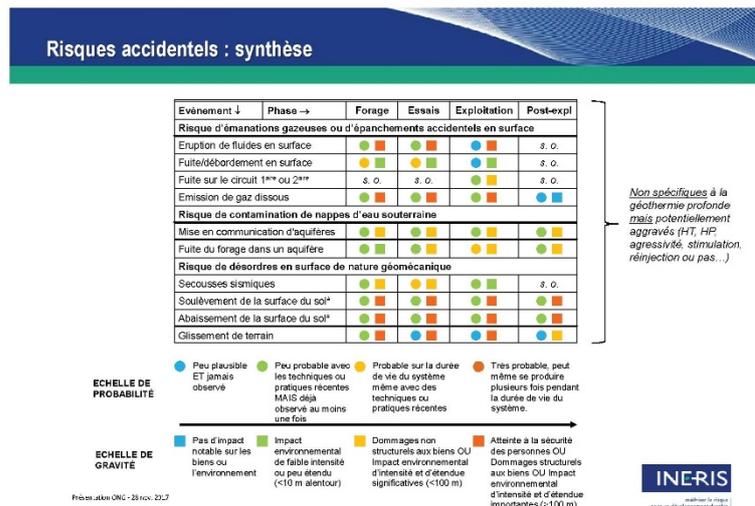
Les nuisances et les impacts générés par la géothermie profonde ne sont pas spécifiques à cette activité : ils sont couramment rencontrés dans le cadre de chantiers de forage (eau, hydrocarbures) ou d'installations industrielles de production de chaleur ou d'électricité. Les phases de foration et d'essais sont les plus délicates en termes d'impacts et de nuisances potentiels, mais elles sont de courte durée

(quelques mois à un an). Impacts et nuisances sont théoriquement bien maîtrisés car ils sont évalués au préalable, de façon obligatoire, avant la mise en œuvre du projet (études d'impact réglementaires).

En ce qui concerne les risques, l'analyse réalisée par l'Institut s'est fondée sur l'accidentologie à l'échelle mondiale. On constate une accidentologie assez faible : 35 accidents ont été répertoriés en 30 ans, faisant 49 victimes et 44 blessés. Cependant, 98% des décès est dû à deux accidents survenus en 1990 et 1991 en Amérique du Sud dans des contextes très spécifiques et non représentatifs du territoire métropolitain français. On observe depuis 2000 une forte diminution de la gravité des incidents (notamment aucun décès) alors même que l'activité de géothermie profonde se développe.

L'Ineris a identifié dix scénarios d'accident dans son analyse comparative des risques, que l'on peut regrouper en quatre types de risque : l'émanation ou l'épanchement de fluide en surface (quatre scénarios), la contamination potentielle du milieu souterrain (deux scénarios), des secousses sismiques ressenties (un scénario), des désordres potentiels en surface (trois scénarios).

Aucun des scénarios de risque identifiés n'est spécifique à la géothermie profonde, mais ces scénarios peuvent être potentiellement aggravés par les caractéristiques qui sont propres à cette activité : niveaux de température et de pression élevés, agressivité du fluide géothermal, usage des techniques de stimulation hydraulique. C'est ainsi que l'Institut n'a pas identifié, sur l'ensemble du cycle de vie d'un projet de géothermie profonde, de niveau de risque élevé (qui se révélerait à la fois très probable et très grave).



Néanmoins, il apparaît indispensable de démontrer la bonne maîtrise de la sécurité et la préservation de l'environnement pour assurer le développement de la filière. Même si l'accidentologie est faible, le retour d'expérience sur les accidents devrait être mieux organisé et partagé. L'Ineris insiste également sur trois points de vigilance dans la mise en œuvre d'un projet géothermique sur le terrain : la surveillance des émanations accidentelles de sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S) ; le contrôle et le maintien dans le temps de l'intégrité des puits pour bien isoler le fluide géothermal des aquifères et formations géologiques sensibles ; la surveillance et la prévention des phénomènes de sismicité anthropique potentiellement générés par l'activité, notamment en phase d'essais.

### L'aléa de sismicité anthropique et les risques associés

On distingue classiquement deux types de sismicité d'origine humaine : la sismicité induite et la sismicité déclenchée. Les premiers cas documentés datent de la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle : en

#### Qu'entend-t-on par sismicité anthropique ? Définitions et terminologie

- Sismicité naturelle
  - Générée par les forces tectoniques (mouvements des plaques continentales)
- Sismicité anthropique
  - **Sismicité induite**
    - L'énergie libérée est d'origine anthropique
    - Elle ne serait jamais apparue sans l'intervention de l'homme
    - Généralement de faible intensité, faible profondeur
  - **Sismicité déclenchée**
    - L'énergie libérée est principalement d'origine tectonique
    - Activité sismique naturelle accélérée par l'intervention humaine
    - Qui serait probablement intervenue naturellement à plus ou moins long terme

en Afrique du Sud, un lien a été établi, après 14 ans d'observation, entre l'extraction de l'or et des tremblements de terre ressentis à Johannesburg en 1894. Aux Etats-Unis, l'étude du barrage de Hoover sur le lac Mead (Nevada) en 1935 a permis de mettre en évidence la relation entre phénomènes de sismicité et mise en eau de grands barrages.

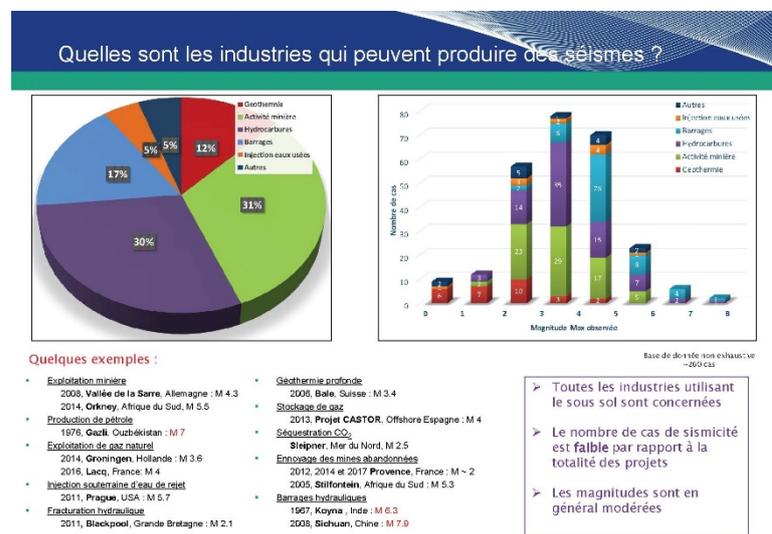


Révision ONC - 26/11/2017

La sismicité anthropique est une question importante à traiter car elle intervient dans des zones qui ne sont pas identifiées et reconnues comme des zones sismiques. Aux Etats-Unis par exemple, les séismes de magnitude  $\geq 3$  sont désormais plus fréquents en Oklahoma qu'en Californie, du fait de l'exploitation des hydrocarbures non conventionnels.

La survenue de séismes de faible profondeur dans des zones où le bâti n'est pas conçu pour résister aux vibrations pose ainsi un problème de sécurité publique, car ces séismes occasionnent des dégâts importants (Prague, Oklahoma, en 2011) voire des victimes (Lorca, Espagne, en 2011). La sismicité anthropique a également des conséquences économiques et financières, dans la mesure où les réactions des populations face à un événement sismique ressenti peuvent conduire à l'abandon d'un projet d'exploitation du sous-sol, indépendamment du risque réel (projet Castor d'exploitation d'hydrocarbures au large des côtes espagnoles en 2013 ; projet de géothermie à Bâle en Suisse, en 2006). De tels phénomènes de sismicité peuvent présenter l'inconvénient de perdurer longtemps après l'arrêt des activités qui en sont la cause : c'est le cas notamment de l'engorgement des ouvrages (depuis 2008, près de 2 000 événements sismiques ont été enregistrés près de Gardanne dans les Bouches-du-Rhône).

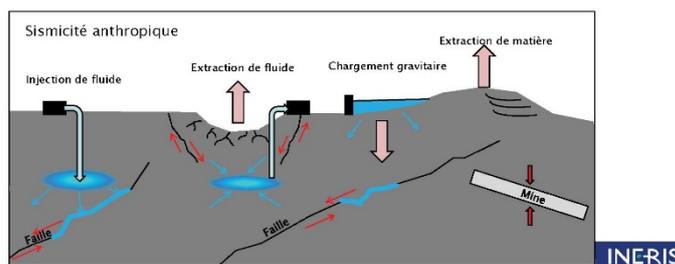
L'ensemble des industries du sous-sol est susceptible de générer de la sismicité. On note un rôle prépondérant de l'activité minière et de l'exploitation d'hydrocarbures (plus de 60% des causes identifiées de sismicité), et dans une moindre mesure des activités de mise en eau de barrage et de géothermie profonde. La sismicité anthropique se caractérise plutôt par une faible magnitude, les secousses les plus fortes ayant été observées lors de la mise en eau de barrage.



## Comment les séismes anthropiques se produisent

Phénomènes les plus dangereux : réactivation d'une faille proche de l'état critique (sismicité déclenchée) et coup de terrain en mine

- Par **chargement ou déchargement gravitaire**
- Par **variation de la pression d'eau interstitielle**
- Couplage des deux phénomènes : remplissage de barrage, engorgement des mines



Réaction OIG - 25/12/2017

D'après Elsworth et al., 2013 et McCarr et al., 2002

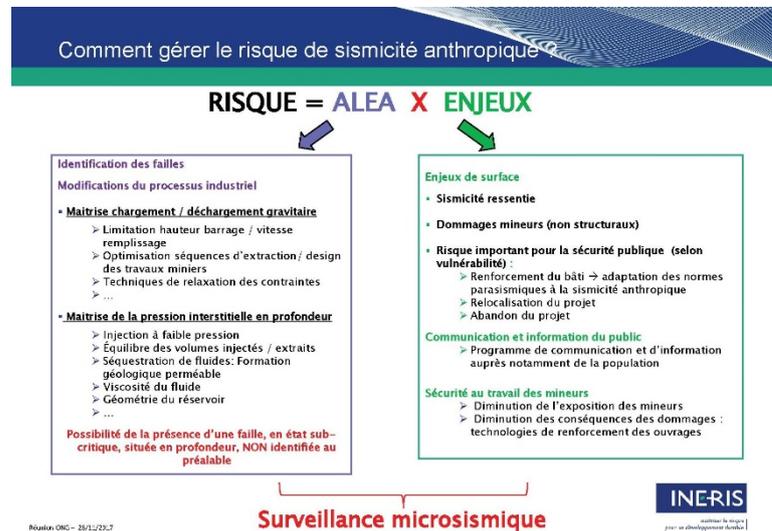
pour un développement durable

par l'injection de fluides, qui augmente la pression interstitielle en profondeur.

L'analyse de l'Ineris souligne que la difficulté majeure présentée par la gestion de la sismicité anthropique est d'anticiper correctement la survenue du phénomène. Il est malaisé de distinguer ce type de sismicité de la sismicité naturelle, le même processus physique étant en jeu dans les deux cas. En outre, la corrélation entre une activité industrielle et un phénomène sismique est compliquée à établir si un décalage dans le temps et l'espace intervient. L'estimation de l'aléa sismique (probabilité que le phénomène se produise) repose sur l'hypothèse classique qu'un séisme qui s'est produit par le passé dans une région donnée peut se reproduire à l'avenir à l'identique. Mais elle doit également intégrer le rôle que peut jouer l'activité humaine dans l'occurrence de séismes, notamment par la prise en compte des caractéristiques de l'activité concernée et du contexte dans lequel elle est menée.

Selon l'Institut, la maîtrise du risque de sismicité anthropique doit porter à la fois sur l'aléa et sur les enjeux qui en sont la cible, à savoir les populations, les installations en surface et l'environnement. Ainsi il convient d'être particulièrement vigilant sur l'identification de la présence de failles. Il est également important d'étudier les adaptations possibles du processus industriel, comme cela a été le cas en France sur le site de géothermie de Soultz-sous-Forêts (modification du protocole de stimulation, diminution des pressions et des volumes injectés suite à de premières secousses). La sécurité des travailleurs, l'information du public voire l'adaptation des normes de construction du bâti sont trois autres points à considérer dans les stratégies de gestion.

Quel que soit l'activité industrielle concernée, il apparaît qu'un outil privilégié pour la gestion du risque est la surveillance microsismique, qui peut être déployée avant le démarrage d'un projet, pendant l'exploitation et après l'arrêt des activités industrielles. Un réseau local de ce type permet de quantifier le niveau de vibrations d'une secousse, transmettre les données en temps réel, localiser précisément les secousses ; les données produites peuvent également être couplées avec les données de suivi d'exploitation. Ce type de surveillance joue également un rôle de système d'alerte dans la conduite des opérations industrielles.



## Eléments de discussion

### Risques, impacts et nuisances potentiels liés à la géothermie profonde

Les échanges ont traité du risque spécifique présenté par la technique de la fracturation hydraulique, qui cristallise les inquiétudes de la population : quel impact pour l'environnement des substances biocides et des acides non recyclables utilisés pour maintenir la roche fracturée ? En particulier lorsque les eaux usées sont réinjectées dans les nappes souterraines ? La technique de fracturation employée dans l'exploitation des gaz de schistes, interdite en France, est de nature différente des techniques en usage pour la géothermie. On parle en effet de techniques de « stimulation » en géothermie : les fluides chauds sont captés dans un milieu géologique déjà poreux et perméable ; la stimulation a pour objet d'agrandir cette porosité et d'améliorer cette perméabilité, et non de fracturer la roche et de la maintenir ouverte. Les substances employées dans ce cadre sont similaires à celles des opérations dites de « développement » des forages d'eau potable, notamment en ce qui concerne l'utilisation d'acides. Enfin, la réinjection du fluide géothermal refroidi s'effectue dans le même aquifère que celui exploité : il s'agit généralement d'aquifères profonds qui ne sont pas utilisables pour l'eau potable.

Les participants s'interrogent sur le degré de risque posé par la radioactivité dans le cadre des activités géothermiques en zone volcanique. Cette problématique a été identifiée comme un enjeu pour la sécurité des travailleurs. Les sels de radium peuvent en effet s'accumuler dans les réseaux de canalisation en surface. Des mesures de surveillance sont aujourd'hui mises en place (mesure de radioactivité, purge des réseaux, surveillance individuelle des travailleurs en radioprotection...).

La discussion a également porté sur la nécessité d'actualiser le Code minier dans le cadre d'activités nouvelles du sous-sol du type géothermie. Les participants manifestent un intérêt pour obtenir des informations sur le contenu actuel du Code minier par rapport à ces activités et sur son harmonisation avec le Code de l'environnement.

Le potentiel géologique du territoire français est évoqué. Outre le bassin parisien déjà bien exploité, les possibilités de géothermie profonde se limitent au fossé rhénan, à la vallée du Rhône, à la plaine de Limagne et aux contreforts des Pyrénées. La variable primordiale dans le choix des zones géographiques est la température de l'eau en sous-sol. Il y a davantage de possibilités sur la géothermie dite « basse température », notamment avec l'exploitation de l'aquifère du Dogger dans le Bassin parisien : celle-ci permet le chauffage des habitations mais pas la production d'électricité qui nécessite des températures plus élevées.

Les participants s'accordent sur l'intérêt environnemental d'une activité comme la géothermie, dont le développement ne doit pas être freiné par des problématiques de sécurité : il est indispensable de la filière soit accompagnée pour assurer la bonne gestion des risques. Il est rappelé qu'à l'heure actuelle, la réglementation impose le régime d'autorisation pour la géothermie haute température et le régime de déclaration pour la géothermie dite de « minime importance », qui concerne principalement les activités de géothermie par pompe à chaleur.

La question du multi-usage du sous-sol est également abordée : les activités de géothermie peuvent par exemple être en concurrence avec les projets de stockage de CO<sub>2</sub> ou d'exploitation d'hydrocarbures, notamment en Ile-de-France. Cette question est importante à considérer pour éviter les conflits d'usage. Le premier utilisateur qui se sert des ressources du sous-sol peut en effet pénaliser les suivants sur une même zone géographique si aucune précaution n'est prise. Il est nécessaire de réglementer pour éviter une trop grande proximité des activités concurrentes.

Les avantages et inconvénients des forages profonds sont débattus. Plusieurs paramètres entrent en ligne de compte. Le forage profond permet d'atteindre des eaux ou vapeurs plus chaudes : c'est le gradient de température qui guide le choix technique. La question de la rentabilité entre également en ligne de compte dans les choix : la géothermie profonde exige des investissements lourds, avec un risque économique fort si la production n'est pas suffisante. Les forages profonds sont un atout pour la production d'électricité et de chaleur directe ; en revanche, la production de chaleur collective par pompe à chaleur ne nécessite pas de recourir à la géothermie profonde. L'enjeu géopolitique, qui repose sur une stratégie visant à limiter la dépendance française aux énergies fossiles, est également à considérer.

### La sismicité anthropique et les risques associés

Les participants se sont interrogés, dans le cadre des activités de géothermie, sur la portée des phénomènes de sismicité et leurs distances d'effet par rapport aux forages. Le microséisme a généralement un impact qui ne dépasse pas quelques centaines de mètres à quelques kilomètres ; cela reste à l'échelle du site d'exploitation. La surveillance des microséismes a recours aux techniques de mesure classique (sismomètres...). La prise en compte de ces phénomènes pour étudier la vulnérabilité des enjeux doit en particulier intégrer les spécificités de la sismicité anthropique qui se déclenche à une profondeur géologique beaucoup moins grande que la sismicité naturelle.

Le risque de sismicité lié à la faille de la chaîne des Puys, notamment par rapport aux activités de géothermie, a-t-il été évalué ? Il est difficile de caractériser le degré de contrainte d'une faille. En revanche, on connaît le mécanisme qui peut aboutir à un phénomène de sismicité déclenchée : à l'état naturel, le milieu géologique compense la force de cisaillement qui s'applique à une faille. La faille est ainsi à l'équilibre : lorsque cet équilibre est à l'état « limite » et perturbé, par exemple en modifiant le régime des contraintes qui pèse normalement sur la faille, les activités humaines peuvent déclencher la force de cisaillement qui conduira à l'occurrence d'un séisme.

La discussion a porté sur les possibilités de la surveillance microsismique : certaines failles ne sont pas toutes visibles en surface, ce qui rend difficile l'identification des phénomènes de sismicité anthropique. Les mécanismes peuvent être identifiés à partir des données sismiques d'où l'intérêt de mettre en place un réseau de surveillance sur le long terme, pendant tout le cycle de vie d'un projet. Un enjeu important de la surveillance est de pouvoir coupler et analyser de manière continue les données sismiques aux données de suivi des exploitations obtenues par ailleurs.

Les échanges ont mis en exergue les défis techniques auquel la gestion du risque liée à la sismicité anthropique est confrontée : acquérir des données de qualité à partir de mesures de terrain pour mieux évaluer l'aléa ; améliorer les modèles prédictifs qui permettent de quantifier a priori l'effet d'une activité sur le déclenchement d'un séisme et sur son intensité (dans une optique d'adapter le processus industriel) ; calibrer le système d'alerte en confrontant les données de surveillance aux études de terrain ; développer une approche de surveillance multi-paramètres pouvant s'appuyer sur les innovations technologiques (capteurs, systèmes d'acquisition de données...).

La question de l'adaptation de la réglementation a été abordée : la réglementation actuelle ne traite que de la sismicité naturelle. Les participants soulignent la nécessité d'étendre et adapter cette réglementation à la sismicité anthropique, notamment pour proposer des prescriptions parasismiques et des zonages d'aléa sismique, similaires à celles des plans de prévention des risques. Cela fournirait une base juridique, en cas de risque élevé, pour décider ou non de l'abandon d'un projet.

## Documentation

- Le rapport « Etat des connaissances sur les risques, impacts et nuisances potentiels liés à la géothermie profonde » : <https://www.ineris.fr/fr/etat-des-connaissances-sur-les-risques-impacts-et-nuisances-potentiels-lies-la-geothermie-profonde>
- Le rapport « Etat des connaissances concernant les aléas et les risques liés à la sismicité anthropique » : <https://www.ineris.fr/fr/etat-des-connaissances-concernant-les-aleas-et-les-risques-lies-la-sismicite-anthropique>

## Contact Ineris

Aurélie PREVOT, Responsable ouverture à la société et communication scientifique  
[aurelie.prevot@ineris.fr](mailto:aurelie.prevot@ineris.fr) – 03 44 55 63 01 – 06 20 90 03 48

## Ineris en bref

L'Ineris est l'expert public pour la maîtrise des risques industriels et environnementaux. Ses activités de recherche, d'appui aux politiques publiques et ses prestations de soutien aux entreprises contribuent à évaluer et prévenir les risques que les activités économiques font peser sur l'environnement, la santé, la sécurité des personnes et des biens.

Etablissement public placé sous la tutelle du ministère chargé de l'environnement, l'Ineris a été créé en 1990 et compte 600 collaborateurs. Son siège situé à Verneuil-en-Halatte (Oise) accueille 30 000 m<sup>2</sup> de laboratoires et de plates-formes d'essais, qui permettent de mener des expérimentations « sur mesure » à moyenne et grande échelle.

### Les compétences de l'Ineris sur la géothermie profonde et la sismicité anthropique

L'Ineris a hérité du Centre de Recherches de Charbonnages de France (Cerchar) des compétences pointues sur les activités extractives et plus généralement sur les phénomènes « gravitaires » (liés à l'attraction terrestre). Effondrement de cavités ou de galeries souterraines, chute de blocs, affaissement de terrain, éboulement de versants rocheux... l'Institut étudie toutes les facettes du risque « mouvements de terrain », d'origine anthropique ou naturelle.

Dans le cadre des questions liées à l'après-mine, l'Ineris a développé des outils et méthodes de surveillance pour assurer la sécurité de territoires marqués par l'arrêt des exploitations minières. L'étude conduite sur les aléas et les risques liés à la sismicité anthropique s'appuie sur cette expertise en matière de surveillance. L'observation et le suivi des phénomènes d'instabilités et de rupture provoqués par les mouvements de terrain sont au cœur du métier de l'Ineris. Son centre national de surveillance des risques du sol et du sol-sol (Cenaris), basé à l'Ecole des Mines de Nancy, est dédié au développement d'outils et de méthodes de surveillance : acquisition, analyse, traçabilité en temps quasi-réel de données géotechniques et géophysiques. Les travaux du Cenaris permettent à la fois de mieux comprendre les mécanismes physiques en jeu et d'élaborer des stratégies de prévention des risques. Les équipes de l'Institut ont notamment un savoir-faire reconnu dans les techniques d'écoute microsismique.

Dans le cadre de l'étude des activités souterraines, l'Institut a la capacité d'associer ses compétences en géosciences à son expertise en sécurité industrielle et en évaluation de l'impact environnemental des polluants chimiques. Depuis près d'une décennie, le savoir-faire géotechnique de l'Institut est mis en œuvre dans le domaine des stockages souterrains (gaz et hydrocarbures, CO<sub>2</sub>, énergie, déchets...), en particulier sous l'angle de la sécurité des ouvrages d'accès (puits). Depuis 2011, cette expertise s'est élargie à d'autres contextes d'exploitation du sous-sol : étude de la sécurité des forages d'hydrocarbures ; risques et impacts environnementaux liés à la filière gaz de houille et aux hydrocarbures de roche-mère, expertise de dossiers d'autorisation de forages géothermiques profonds... L'Ineris contribue ainsi à la constitution d'une expertise publique nationale du « risque forages ». C'est sur cette expertise que se sont appuyées les équipes de l'Institut, pour dresser un état des connaissances sur les risques, impacts et nuisances potentiels liés à la géothermie profonde.

### Domaines d'expertise de l'Institut

#### Risques chroniques

Mesure et prévision de la qualité de l'air ; pollution des milieux aquatiques ; toxicité des substances chimiques pour l'homme et les écosystèmes ; exposition des populations ; coûts et efficacité de la prévention des pollutions ; champs électromagnétiques ; économie circulaire et déchets ; sites et sols pollués, substances nanométriques.

#### Risques accidentels

Sécurité industrielle ; transport de matière dangereuse ; sécurité des substances et procédés chimiques ; équipements de sécurité ; incendie, explosion, dispersion toxique ; malveillance, nanosécurité ; nouvelles filières énergétiques.

#### Risques sols/sous-sols

Mines, après-mine et industries extractives ; cavité, fronts rocheux et pentes ; ouvrages géotechniques, barrages et géostructures ; stockages souterrains, réservoirs et forages profonds.

#### Certification

Atmosphères explosives ; écotechnologies ; sécurité fonctionnelle ; nano-technologie, pyrotechnie

[www.ineris.fr](http://www.ineris.fr)